

Iipo Arovirta

# Maalin valmistusaineiden jauhatuksen optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

19.2.2016

Tekijä(t) Otsikko	lipo Arovirta Maalin valmistusaineiden jauhatuksen optimointi
Sivumäärä Aika	24 sivua + 2 liitettä 19.2.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Tutkija Ilja Katainen Yliopettaja Kai Laitinen
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Teknos Oy:lle. Työn tarkoituksena oli parantaa yrityksen tuotevalikoimaan kuuluvan vesiohenteisen maalin jauhatusta ja tehdä jauhatusprosessista nopeampi ja energiatehokkaampi. Kokeet tehtiin yrityksen laboratoriossa dissolver-sekoittimella raaka-aineita ja raaka-ainesuhteita muuttamalla. Lisäksi tavoitteena oli hyödyntää sekoittimeen kytkettävää laitevalmistajan ohjelmistoa jauhatusparametrien talteenotossa, käsittelyssä ja tulkinassa.</p> <p>Kokeet tehtiin lisäämällä raaka-aineet reseptin mukaan sekoittimeen ja dispergoimalla ne. Dispergoinnin loputtua jauhatusta mitattiin standarditulkilla sekä maalin koostumusta arvioitiin visuaalisesti. Dispergointiaineiden suhteita muuttamalla jauhatusta ei saatu parannettua, joten jauhatusongelmaa lähestyttiin seuraavaksi viskositeettia säättämällä. Sideainemäärän muutokset eivät myöskään tuottaneet haluttua parannusta, joten lopuksi verrattiin keskenään eri paksuntajien vaikutusta jauhatukseen.</p> <p>Suoraa keinoa jauhatustekniikan parantamiseksi ei työn perusteella saatu, mutta tiettyjä tekijöitä voitiin poissulkea lisätutkimuksia varten. Saatujen tulosten perusteella voitiin todeta, että dispergointiaine A on jauhatuksen kannalta tärkeämpi, kuin dispergointiaine B. Lisäksi sideainemäärää muuttamalla jauhatusta ei parane. Toisen paksuntajan käyttö voi olla keino ongelman ratkaisemiseksi, koska viimeisissä kokeissa selluloosapaksuntajalla saatiin paras jauhatustulos.</p>	
Avainsanat	dispergointi, jauhatusta

Author(s) Title	Ilpo Arovirta Optimization of grinding parameters
Number of Pages Date	24 pages + 2 appendices 19 February 2016
Degree	Bachelor of Science
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Ilja Katainen, R&D Scientist Kai Laitinen, Principal Lecturer
<p>This final thesis was made for Teknos Oy. The aim of this project was to improve the grinding rate of waterborne paint and to make the dispersion process faster and more energy efficient. The tests were conducted with the company's laboratory mixer by replacing some of the materials and changing their ratios. In addition, the aim was to utilize the manufacturer's software by recovering, processing and interpreting the grinding parameters.</p> <p>The tests were conducted by adding the raw materials according to the recipe into the dispersing mixer. At the end of the dispersion, the grinding rate was measured with the grindometer, and the paint composition was also evaluated visually. It was soon noted that changing the dispersant ratios did not affect the grinding rate positively, so the next step was to approach the problem by adjusting the viscosity of the paint. The changes in the amount of the used binder did not provide desired improvements either. Lastly, other thickener alternatives were taken under examination.</p> <p>On the basis of this research, there is no direct response to the issue of the grinding rate improvement, but a number of factors could be ruled out for further study. The results indicated, that the dispersant A is more important than dispersant B in terms of grinding. In addition, changing the amount of the binder does not improve the grinding rate. An alternative thickener may be a solution to the problem because the last tests with the cellulose thickener provided the best grinding results.</p>	
Keywords	dispersion, grinding rate

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Yrityksen esittely	1
3	Dispergointi ja jauhatusasteen mittaaminen	3
3.1	Dispergointi	3
3.2	Jauhatusasteen mittaaminen	7
4	Reologia ja viskositeetti	8
4.1	Reologian määritelmä	8
4.2	Viskositeetti	8
4.3	Viskositeetin mittaaminen	11
5	1-komponenttisen maalin koostumus	12
5.1	Sideaine	12
5.2	Liuotin	12
5.3	Pigmentit ja täyteaineet	12
5.3.1	Titaanidioksidi	12
5.3.2	Talkki	13
5.4	Apuaineet	13
5.4.1	Dispergointiaineet	13
5.4.2	Vaahdonestäjä	14
5.4.3	Biosidi	14
5.4.4	Himmennysaine	14
5.4.5	Paksuntaja	15
5.4.6	Ammoniakki	15
6	Työhön liittyvät lähtökohdat ja ongelmat	15
7	Tutkittavan maalin jauhatusasteen parantaminen	17
7.1	Dimensiomuutokset	17
7.2	Dispergointiaineiden vertailu	17
7.3	Jauhatusongelman selvittäminen	18
7.4	Viskositeetin säätö	18
7.4.1	Sideainemäärän muutos	19
7.4.2	Liuottimen määrän muutos	19
7.4.3	Paksuntajan vaikutus	19

8	Tulokset ja tulosten tarkastelu	21
9	Johtopäätöksiä	22
	Lähteet	24
	Liitteet	
	Liite 1. Viskositeetin säätö sideainemäärän avulla	
	Liite 2. Dispergointiaineiden vertailu selluloosapaksuntajan kanssa	

## 1 Johdanto

Työn tarkoituksena oli parantaa Teknos Oy:n tuotevalikoimaan kuuluvan vesiohenteinen ulkokestävän pintamaalin jauhatustetta ja tehdä jauhatusprosessista nopeampi ja energiatehokkaampi. Tuotannossa ilmenneet ongelmat jauhatuksen laadussa ja jauhatusprosessin kestossa olivat taustana työn tekemiselle.

Tuotannossa maali joudutaan ajamaan dispergoinnin jälkeen helmimyllyn läpi oikean jauhatustasteen takaamiseksi. Myllytysvaihe kestää tehdasolosuhteissa useamman tunnin, ja tämän työn ideaalisena tavoitteena oli saada jauhatus dispergointivaiheessa niin hienoksi, että myllyä voitaisiin ajaa suuremmalla nopeudella tai jopa sivuuttaa kokonaan.

Työssä tutkittiin maalin ns. jauhatuspanosta, joten maalin loppulisäyksiä ei käsitelty. Työssä käytettiin laboratoriomittakaavassa WMA-Getzmannin sekoittimia, joista saatiin laitetoimittajan Windisp-ohjelmiston avulla laitteen teholut, kierrosnopeudet ja lämpötilat tallennettua tietokoneelle. Tehonlisäyskäyrien kokoaminen, tulkitseminen ja vertailu oli myös yksi työn tavoitteista.

## 2 Yrityksen esittely

Teknos on yksi Euroopan johtavia teollisuusmaalien valmistajia. Yrityksellä on vahva asema kauppa- sekä rakennusmaaleissa. [1.]

Tuotantoa on seitsemässä maassa: Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Saksassa, Puolassa, Venäjällä ja Kiinassa. Omia myyntiyhtiöitä on 15 maassa. Oman edustajaverkoston välityksellä Teknos-konsernilla on vientiä myös pariin kymmeneen muuhun maahan. Kotimaiset Teknoksen tuotantolaitokset sijaitsevat Rajamäellä ja Helsingissä. Helsingin toimipaikassa Pitäjänmäessä toimii yhtiön pääkonttori ja pää tutkimuskeskus. [1.]

Teknos työllistää 1 100 henkilöä, joista tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa työskentelee 150 ammattilaista. Konsernin liikevaihto on n. 280 miljoonaa euroa. Yritys panostaa tutkimukseen sekä tuotekehitykseen ja pyrkii olemaan asiakkailleen ensisijainen yhteistyökumppani. [1]. Tärkeimpiä Teknoksen tuotteita ovat mm. yksityiskäyttöön tarkoitetut

Kirjo-tuoteperheen peltikattomaalit, Ferrex-ruosteenestomaali, Nordica-tuoteperheen talomaalit ja Woodex-suojaöljyt ja pohjusteet puupinnoille. Teolliseen maalaamiseen Teknos tuottaa mm. metallimaaleja teräs- ja siltarakenteille, prosessilaitteille ja paperiteollisuuden koneille. Rajamäellä valmistettavat jauhemaalit taas sopivat rankkaa kulutusta vaativille käyttökohteille, kuten kodinkoneille, polkupyörille, hyllyille, autonosiin jne. Lisäksi yritys valmistaa Teknoroa-tuoteperheen tiemerkintämaaleja, joista vesiohenteisia tuotteita myydään pääasiassa Suomeen ja suuri osa liuotinpohjaisista Teknoroa-maaleista myydään Ruotsiin. [1.]

Teknosin historia alkaa vuodesta 1948, jolloin perustettiin Teknos-tehtaat Oy. Yritys kehitti Suomen ensimmäisen monipigmentoidun lyijymönjän Ferrexin 1949, ja 1960-luvulla uudet hittituotteet Panu ja Kirjo löysivät tiensä maalikauppiaitten hyllyille. 1971 jauhemaalien valmistus alkoi Suomessa Teknosin tuottamana. 1985 tietokoneohjattu Teknomix-sävytyskone kehitettiin. 1986 Teknos laajeni ostamalla Winterin Epilän tehtaiden maaliliiketoiminnot ja vuosina 1989–1992 Teknos jatkoi laajentumistaan ostamalla Tranemofärg-tehtaan Ruotsista, tanskalaisen Schou Farve- og Lakfabrikin perustamalla tytäryhtiön Norjaan sekä avaamalla Ruotsiin ja Rajamäelle keskusvarastot. 1993 Teknos sai SFS-ISO 9001 -sertifikaatin. 1996–1998 Teknos perusti tytäryhtiön Puolaan ja osti osake-enemmistön englantilaisesta European Coatings Ltd:stä. 1999 Suomen ja Ruotsin toimipisteet sertifioitiin ISO 14001 -ympäristöhallintajärjestelmään. Vuosina 2000–2012 Teknos perusti tytäryhtiöitä Sloveniaan, Ukrainaan, Vietnamiin ja Kiinaan, rakennutti Euroopan suurimman jauhemaalitehtaan Rajamäelle ja aloitti uuden tehtaan rakennustyöt Pietarissa Venäjällä. [1.]

### 3 Dispergointi ja jauhatusasteen mittaaminen

#### 3.1 Dispergointi

Kiinteät jauhemaiset aineet koostuvat pienistä yksittäisistä partikkeleista. Nämä partikkelit voivat lyöttäytyä yhteen vierekkäin, jolloin puhutaan aggregaatista eli partikkeliryhmästä. Partikkeliryhmät ja yksittäiset partikkelit voivat taas yhdistyä toisiinsa isommaksi joukoksi, jota kutsutaan agglomeraatiksi. [2, s. 108.]

Dispergointi on edellämainittujen kiinteiden ainepartikkeleiden ja agglomeraattien hajoittamista sekä niiden jakamista tasaisesti nestefaasiin. Kiintoainepartikkelit kostutetaan väliaineella, jotta ne eivät pääsisi kiinnittymään uudestaan toisiinsa. Lisäksi niiden pinnalle kertynyt ilma ja kosteus poistetaan. Maalinvalmistuksessa dispergointia kutsutaan jauhatukseksi ja se on koko maalinvalmistusprosessin teknisesti vaativin ja energiaa kulluttavin vaihe. [2, s. 231–232; 3, s. 13–14.]

Dispergointiin käytetään kuvan 1 mukaisia sekoittimia, joissa on hammastettu terä, ja niillä voidaan päästä lähes 10 µm:n partikkelikokoon. Tätä hienompaan jauhatusasteeseen tarvitaan erilaisia myllyjä, joita ei tässä työssä käsitellä. [2, s. 232; 4.]





Kuva 1. Laboratoriomittakaavan dissolver-sekoitin. [5]

Sekoittimen terän (kuva 2) muotoilun ansiosta sen ulkokehälle syntyy ylipaine ja terän sisäpuolelle vuorostaan alipaine. Näin astiassa dispergoitava aine altistuu terän läheisyydessä suurille paineenvaihteluille sekä leikkausvoimille ja näiden vaikutuksesta agglomeraatit hajoavat. [2, s. 233.]



Kuva 2. Sekoittimen teriä. [6]

Dispergoinnin kannalta käytettävän laitteen tärkein arvo on terän kehänopeus  $v_p$ , joka saadaan kaavasta 1:

$$v_p = \pi \cdot n \cdot D \quad (1)$$

missä

$n$  = pyörimisnopeus

$D$  = terän halkaisija

Tyypillisesti tuotannossa terän kehänopeudet vaihtelevat välillä 10–25 m/s maalityy-  
pistä riippuen. Lisäksi laitteen käyttämä teho  $P$  saadaan laskettua kaavasta 2:

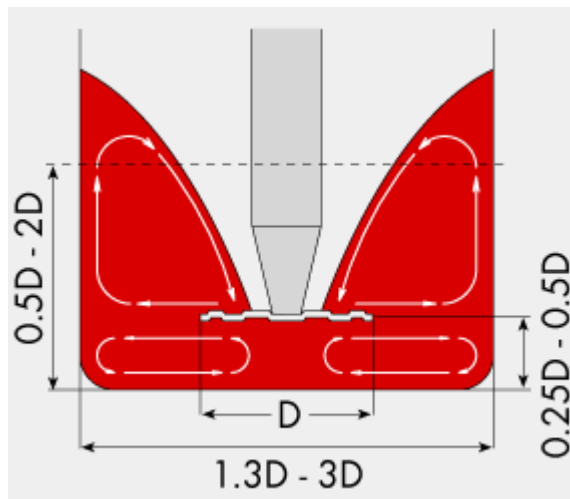
$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \quad (2)$$

missä

$M$  = vääntömomentti

Optimaalisen lopputuotteen takaamiseksi pigmentit, sideaineet, liuottimet ja dispergoi-  
tiaineet on lisättävä jauhatuspanokseen oikeassa suhteessa. Lisäksi käytettävän säi-  
liön, jauhettavan materiaalin ja terän koon dimensioiden on oltava oikeanlaiset, jotta  
säiliössä tapahtuva jauhatus onnistuu halutunlaisesti (ks. kuva 3). Jauhettavan materi-  
aalin viskositeettikin on säädettävä tarkasti, jotta jauhettava materiaali pyörii säiliössä  
tehokkaasti. Jauhatuksessa pyritään ns. donitsi-efektiin (ks. kuva 4), jossa maali pyörii

astiassa tasaisesti. Maali liikkuu terän ulkokehältä astian seinämää pitkin pois päin ja palaa takaisin terän läheisyyteen. Näin maali jauhautuu tasaisesti, eikä epätasaisuuksia tuotteeseen synny. [2, s. 233.]



Kuva 3. Jauhatukselle optimaaliset dimensiot. [7]



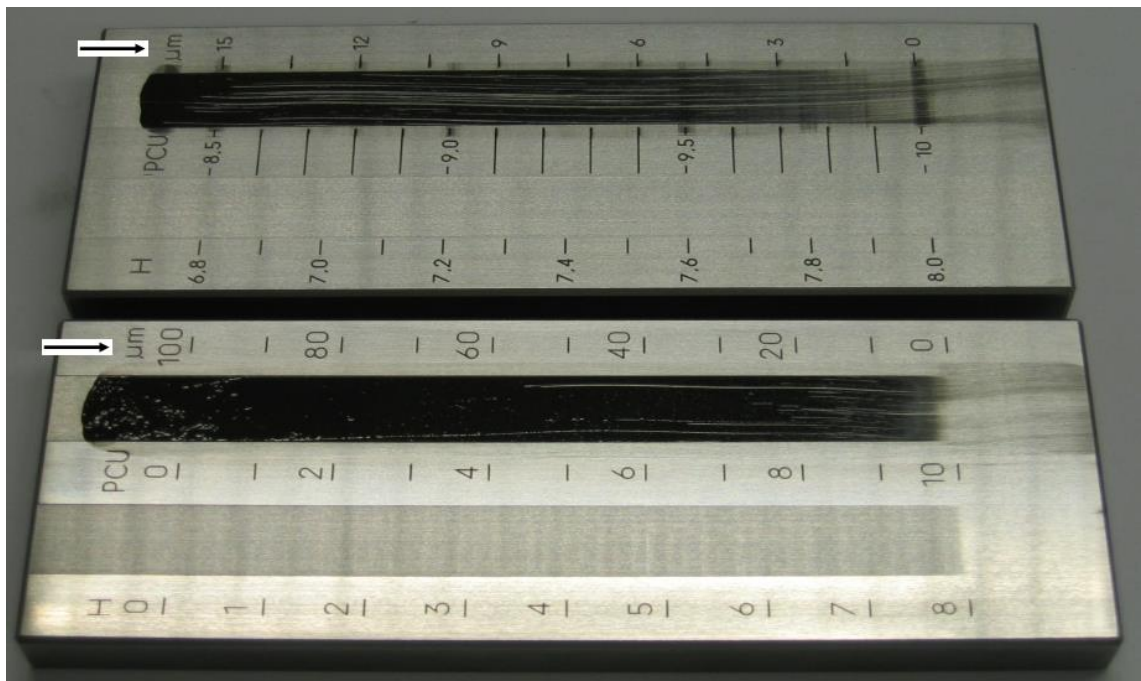
Kuva 4. Donitsi-efekti. [8]

Suurin osa sekoittimen tuottamasta energiasta muuttuu jauhatuksen aikana lämmöksi ja jauhatuspanoksen lämpötila voi nousta yli 60 °C:seen. Tämä edesauttaa pigmenttien kostumista, mikä on jauhatuksen kannalta positiivinen tekijä. Tosin tietyt maalityypit (tai

niiden sideaineet) eivät kestä korkeita lämpötiloja, joten tällöin on käytettävä jäähdytysmekanismeja. Tyypillisesti jauhatusaika tuotannossa vaihtelee 10–30 minuutin välillä. [2, s. 233–234.]

### 3.2 Jauhatusasteen mittaaminen

Jauhatusasteen mittaamiseen käytetään standarditulkkia (ks. kuva 5), kovateräksestä tehtyä levyä, jossa on yksi tai kaksi asteittain syvenevää uraa yleensä 0–100  $\mu\text{m}$ :iin. Näyte asetetaan uran syvipäähän kohtaan ja näyte vedetään tasaisesti pitkin uraa teräksisellä kaapimella. Kohta, jossa karheita hiukkasia tulee näkyviin, osoittaa maalin jauhatusasteen. [2, s. 14.]



Kuva 5. Kaksi standarditulkkia, joille on levitetty maalinäyte. [9]

## 4 Reologia ja viskositeetti

### 4.1 Reologian määritelmä

Reologia on oppi aineen muodonmuutoksista ja virtauksista. Reologiassa aineen mekaanisia ominaisuuksia tutkitaan reologisilla mittauksilla ja näillä saadaan tietoa aineen juoksevuusominaisuuksista. Käytännössä reologiassa tutkitaan aineen viskositeettia. [10.]

### 4.2 Viskositeetti

Nesteen viskositeetti on sen sisäinen kitka, joka vastustaa nesteen liikettä. Mitä pienempi viskositeetti nesteellä on, sitä juoksevampaa se on. [3, s.24.]

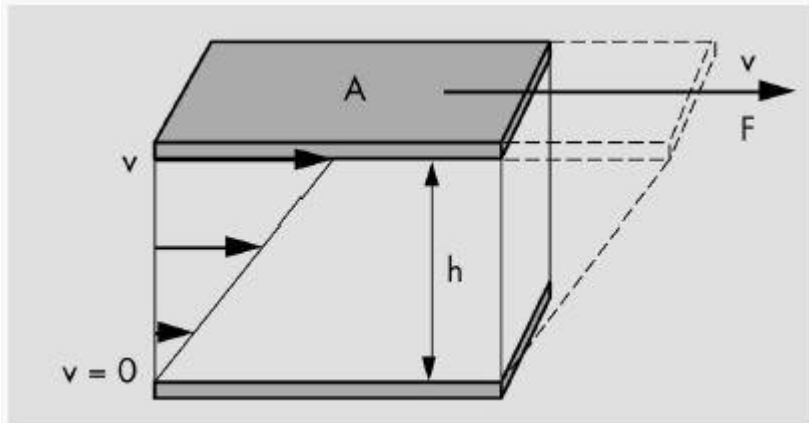
Viskositeetin laskemiseen tarvitaan kaksi suuretta, jotka ovat leikkausvoima  $\tau$  ja leikkausnopeus  $\dot{\gamma}$ . Oletetaan, että neste on kahden yhtä suuren tason välissä. Toinen taso on paikallaan ja toinen taso on liikkeessä.

Leikkausvoima pinta-alaa kohden  $\tau$  on tasoa liikuttavan voiman  $F$  ja tason pinta-alan  $A$  välinen suhde, joka saadaan laskettua kaavasta 3:

$$\tau = \frac{F}{A} \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (3)$$

jossa

$F$  = tasoa liikuttava voima ja  $A$  = tason pinta-ala (ks. kuva 5) [10.]



Kuva 6. Leikkausvoima ja leikkausnopeus havainnollistettuna [10]

Leikkausnopeus  $\gamma$  saadaan laskettua kaavasta 4:

$$\gamma = \frac{v}{h} \left[ \frac{1}{s} \right] \quad (4)$$

missä

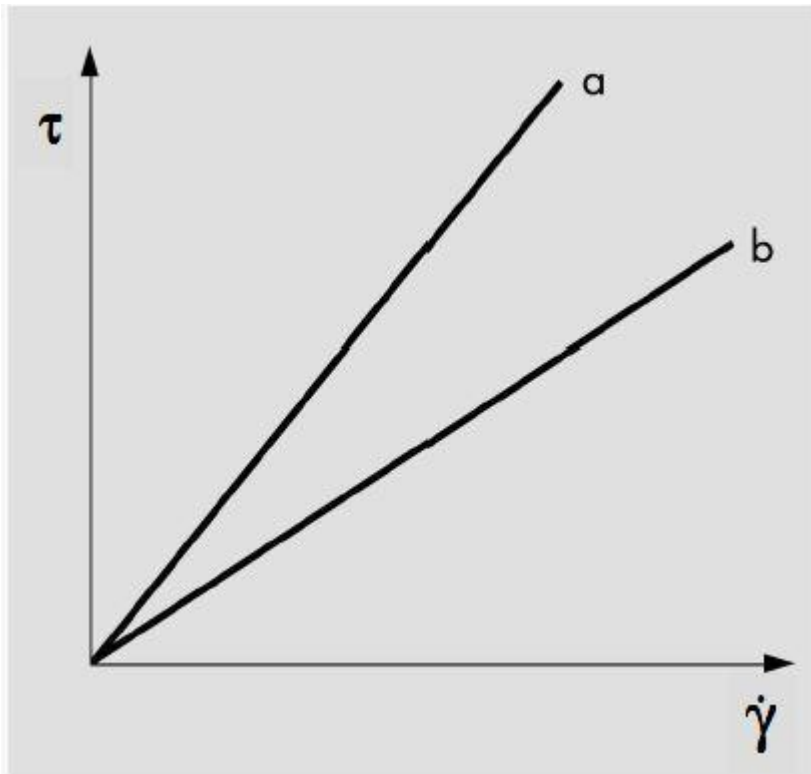
$v$ =tason liike (m/s) ja  $h$ =nesteen paksuus (m) (ks. kuva 6)

Viskositeetti eli dynaaminen viskositeetti  $\eta$  saadaan laskettua kaavasta:

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \quad (5)$$

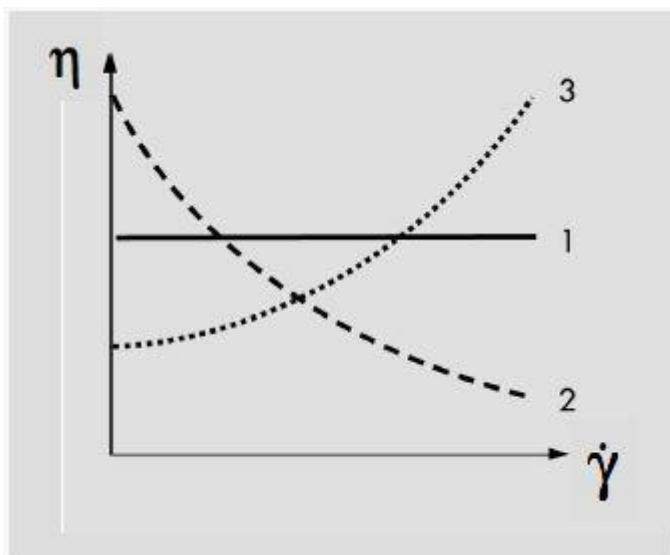
eli viskositeetti on leikkausvoiman ja leikkausnopeuden suhde. Saadun viskositeetin yksikkö on Pa s (Ns/m<sup>2</sup>). [2, s. 342; 3, s. 24.]

Ideaalisen, eli newtonmaisena, nesteen viskositeetti pysyy vakiona, kun lämpötila on vakio. Tämä voidaan havainnollistaa piirtämällä viskositeettikäyrä  $\gamma/\tau$ -kuvaajaan. Nähdään, että leikkausvoiman ja leikkausnopeuden kasvaessa viskositeetti kasvaa (ks. kuva 6.) [2, s.342.]



Kuva 7. Leikkausvoima esitettynä leikkausnopeuden funktiona. Aine a on viskoosimpaa, kuin aine b [10]

Vastaavasti, jos piirretään käyrä viskositeetista leikkausnopeuden funktiona, saadaan newtonmaiselle nesteelle suora x-akselin suuntainen viiva, kuten käyrä 1 kuvassa 8. [3, s. 25]



Kuva 8. Viskositeetti leikkausnopeuden funktiona [10]

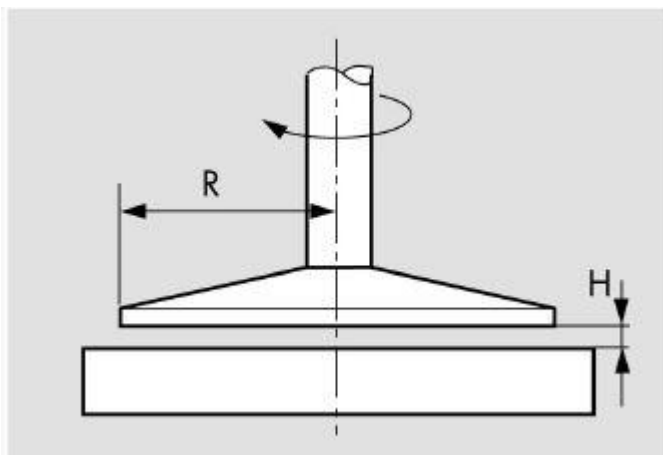
Kuvasta 7 nähdään, että käyrän 1 neste on ideaalinen eli newtonmainen. Nesteet harvoin ovat täysin newtonmaisista, ne voivat myös olla pseudoplastisia (käyrä 2, kuva 7) tai dilatanttisia (käyrä 3). Pseudoplastisten nesteiden viskositeetti alenee, kun leikkausnopeus kasvaa ja dilatanteilla nesteillä viskositeetti vastaavasti kasvaa leikkausnopeuden kasvaessa. [2, s. 343.]

Maaleilta vaaditaan juuri tietynlaista viskositeettia mm. levittämisen helppouden takaamiseksi. Maali ei saa olla liian sitkeää, eikä se saa myöskään valua levittämisen jälkeen. Maalit pyritään tekemään hyytelömäisiksi, eli tiksotrooppisiksi. [3, s. 25.]

Tiksotrooppisen nesteen viskositeetti alenee, kun leikkausnopeus kasvaa. Sekoittamisen ja levittämisen jälkeen viskositeetti nousee pienellä viiveellä, jolloin maali ehtii tasoitumaan siististi. [3, s. 25; 11.]

#### 4.3 Viskositeetin mittaaminen

Viskositeettia mitataan erilaisilla viskosimetreillä. Maaleja mitataan usein rotaatioviskosimetreillä, joissa maalinäyte asetetaan pyörivän levyn ja kiinteän aluslevyn väliin. (Ks kuva 8). Myös näyteastiaan upotettavalla karalla voidaan mitata viskositeettiä, kuten Krebsin ja Brookfieldin viskosimetreillä. [2, s. 345.]



Kuva 9. Levytyyppinen viskosimetri [11]

Viskositeettia mitattaessa on otettava huomioon maalin käyttöolosuhteissa läsnäolevat leikkausvoimat. Esimerkiksi ruiskumaaleja testattaessa on mitattava viskositeetti ruiskun aiheuttamien leikkausvoimien ja -nopeuksien alueella. [2, s. 344]



## 5 1-komponenttisen maalin koostumus

### 5.1 Sideaine

Maalikalvon sideaine muodostaa ulkoisen väliaineen, joka on kosketuksissa alustan ja ympäristön kanssa. Se vaikuttaa, miten hyvin maalikalvo tarttuu alustaan ja miten kalvo kestää ympäristön vaikutusta. Sideaine vaikuttaa kalvon joustavuuteen, kovuuteen, kalvonmuodostukseen ja kiiltoon. [3, s. 10.]

Maalien sideaineet ovat pääosin orgaanisia, suurimolekyyllisiä polymeerejä tai reaktiokykyisiä lakkahartseja, joista muodostuu polymeerejä maalin kuivuessa. [3, s. 10.]

### 5.2 Liuotin

Nestepitoiset maalit sisältävät haihtuvaa nestettä, liuotinta, joka antaa maalille levitykseen ominaisen viskositeetin. Liuotin haihtuu kalvosta levityksen ja kuivumisen aikana. Sen vaikutus nähdään maalin maalattavuudessa, kalvonmuodostuksessa ja kalvon kestävydessä. [3, s. 12.]

Orgaanisia liuottimia ovat mm. hiilivedyt, alkoholit, eetterialkoholit, esterit ja ketonit. Vesi on puolestaan epäorgaaninen liuotin. Orgaaniset sideaineet eivät kuitenkaan ole vesiliukoisia, mutta ne voidaan dispergoida veteen. Näitä maaleja kutsutaan dispersio- tai lateksimaaleiksi. [3, s.12.]

### 5.3 Pigmentit ja täyteaineet

#### 5.3.1 Titaanidioksidi

Titaanidioksidi on väripigmentti, joka antaa maalille valkoisen värin. Lisäksi titaani suojaa maalia UV-säteilyltä, kestää vaihtelevia sääolosuhteita ja on ympäristöturvallisuuden kannalta vaaratonta. [3, s.10; 2, s. 124.]

Titaanidioksidi on ylivertainen valkoinen pigmentti suuren taitekertoimensa ansiosta (2,75 rutiili- ja 2,55 anataasi-muoto). Titaanidioksidilla maaliin saadaan siis hyvä peittokyky. Vertailuksi voidaan mainita sinkkioksidi, jonka taitekerroin on vain 2,01–2,09. Lisäksi titaanioksidipartikkelit siroavat valoa voimakkaasti. Maalinvalmistuksessa oleellisin titaanioksidin muoto on rutiili, koska se on termodynaamisesti stabiilimpi, tiheämpi ja kovempi kuin anataasi. [2, s. 119.]

### 5.3.2 Talkki

Talkkia eli magnesiumsilikaattia käytetään maaleissa täyteaineena. Talkin läsnäolo vaikuttaa maalikalvoon tekemällä sen tiiviiksi ja lujaksi. Talkilla säädetään myös maalipinnan kiiltoa ja alennetaan maalin lopullista hintaa, koska talkki on pigmenttejä selvästi edullisempaa. [2, s.153; 3, s.11.]

Talkki on hyvin pehmeää, mikä parantaa maalin jauhautuvuutta. Lisäksi rakenteensa ansiosta talkilla voidaan myös tietyissä määrin vaikuttaa maalin reologiaan. Talkin pinta-ala on suhteellisen suuri sen huokoisen ja hiutalemaisen rakenteen ansiosta, joten talkilla on suuri öljyluku. Öljyluku kertoo, kuinka paljon tietty määrä pigmenttiä tai täyteainetta absorboi itseensä pellavasiemenöljyä. [2, s. 118, 156.]

## 5.4 Apuaineet

Useimmat maalit sisältävät apuaineita antamaan maalille tai maalikalvolle toivottuja ominaisuuksia. Niitä käytetään esim. parantamaan maalin kuivumisnopeutta, maalikalvon kiiltoa tai tasoittuvuutta, valonkestävyyttä sekä naarmuuntumiskestävyyttä ja homeenkestoa. Apuaineilla voidaan myös estää pigmenttien laskeutumista, maalikalvon likaantumista tai maalin valumista. [3, s. 12.]

### 5.4.1 Dispergointiaineet

Dispergointiaineiden tehtävä on estää pigmenttien kiinnittyminen takaisin toisiinsa jauhatuksen loputtua. Toisin sanoen dispergointiaineiden tehtävä on siis estää flokkulointi. Ne kiinnittyvät pigmenttien pinnalle ja näin estävät pigmenttejä pääsemästä liian lähelle

toisiaan. Tällöin Van der Waalsin voimat eivät pääse vaikuttamaan pigmenttien välille, joten flokkulointi estyy ja jauhatus pysyy stabiilina. [2, s. 175–176.]

#### 5.4.2 Vaahdonestäjä

Maaleissa käytettävät apuaineet saattavat käyttäytyä pinta-aktiivisten aineiden tavoin ja alentavat nesteen pintajännitystä. Tämän johdosta raaka-ainelisyysten yhteydessä maaliin dispergoitunut ilma ei pääse poistumaan tarpeeksi nopeasti ja syntyy vaahtoa. Vaahdon syntyminen on hyvin epätoivottua, koska maalikalvon pinta kärsii huomattavasti ja näin ollen sen suojauskyky hupenee. [2, s. 159–160.]

Pinta-aktiiviset aineet kiinnittyvät ilmakuplan ulkopinnalle muodostaen misellin, jolloin nesteen pinnalla ilmakupla ei pääse puhkeamaan sidosten voimakkuuden johdosta. Vaahdonestäjät tunkeutuvat pinta-aktiivisten aineiden ja ilmakuplan väliin, jolloin kupla rikkoutuu ja ilma pääsee vapautumaan nesteen pinnasta. [2, s. 160.]

Valmiissa maalissa on monia komponentteja, jotka voivat itsessään aiheuttaa vaahtoutumista. Siksi on ensiarvoisen tärkeää testata eri vaahdonestäjiä huolellisesti ja valita sopivin vaihtoehto. Vaahdonestäjien sivuvaikutukset voivat ilmetä maalipinnan kiillon heikentymisenä, maalipinnan sameutumisena tai rakoilemisena. [2, s. 162.]

#### 5.4.3 Biosidi

Kaikki vesipohjaiset maalit ovat alttiita mikro-organismien kasvulle. Sienet, levät ja bakteerit voivat aiheuttaa maalin kuljetuksen tai varastoimisen aikana värisävyjen, pH:n tai viskositeetin muutoksia, hyytelöitymistä, dispersion hajoamista tai kaasun muodostumista. Kemiallisilla biosideilla vähennetään tai kokonaan estetään näiden mikro-organismien kasvu. [2, s. 176.]

#### 5.4.4 Himmennysaine

Himmennysaineen tehtävä on nimensä mukaisesti vähentää maalipinnan kiiltoa. Himmennysaineita ovat mm. erilaiset silikaatit. Himmennysaineita käytettäessä niitä lisätään maaliin hyvin pieniä määriä, enintään 8 m-% tuotteen painosta. [12, s. 167, 170.]

#### 5.4.5 Paksuntaja

Paksuntajien tehtävänä on estää pigmenttien ja täyteaineiden laskeutuminen maalin säilytyksen tai kuljetuksen aikana. Lisäksi paksuntajilla säädelään maalin viskositeettia halutulle tasolle. [2, s. 170; 11.]

Tyypillisiä paksuntajia ovat mm. selluloosajohdannaiset, polyakrylaatit, polyeetteripolyolit ja polyuretaanijohdannaiset. Selluloosapaksuntajien vaikutus perustuu nestefaasin turpoamiseen ja polymeerimolekyylien sekoittumiseen. Assosioivat paksuntajat, kuten polyakrylaatit, koostuvat hydrofobisesta ja hydrofiilisesta osasta. Näiden vaikutus perustuu hydrofobisen osan ja maalin eri komponenttien väliseen vetovoimaan hydrofiilisen osan pysyessä nestemäisessä faasissa. [2, s. 171; 11.]

#### 5.4.6 Ammoniakki

Ammoniakilla säädetään maalin pH:ta. Ammoniakki haihtuu nopeasti, jolloin sitä lisätään maalinvalmistuksen aikana useassa eri vaiheessa. [10;13.]

## 6 Työhön liittyvät lähtökohdat ja ongelmat

Työn tarkoituksena oli parantaa tutkittavan maalin jauhatustasoa. Tavoitetta lähdettiin lähestymään raaka-aineiden suhteita muuttamalla. Lähtökohtaisesti maalin ainesosien muutoksia pyrittiin siis välttämään työn rajaamisen helpottamiseksi. Työ eteni koe tai koesarja kerrallaan, joista selvitettiin standarditulkilla jauhatustasot, tallennettiin tehokäyrät ja arvioitiin maalin koostumusta visuaalisesti. Näiden havaintojen perusteella päätettiin seuraavan kokeen tai koesarjan raaka-aineiden suhdemuutokset ja näin tutkimusta jatkettiin empiirisellä pohjalla.

Työssä haluttiin selvittää myös jauhatuslaitteiston ja laitevalmistajan ohjelmiston potentiaali jauhatuksen tehokkuuden arvioinnissa ja tiedonkeruussa esimerkiksi energiankulutuksen pienentämistä varten. Jauhatuksen arviointi tehokäyristä oli kuitenkin ongelmallista, koska dispergointiin liittyvien muuttujien vakiointi ei ollut helppoa. Tämä siksi, että jauhatuksessa pyrittiin lähes aina luvussa 3 mainittuun donitsi-efektiin. Jauheita lisättäessä sekoittimen terää jouduttiin usein nostamaan, jotta jauheet saatiin dispergoitumaan

nesteeseen, eivätkä ne jääneet jauhatuspanoksen pinnalle pyörimään. Pienetkin muutokset teränkorkeudessa näkyivät heti tehomuutoksena, mikä vaikeutti tehokäyrien vertailua. Ensimmäisten testien aikana Windisp-ohjelmisto saatiin toimimaan ainoastaan demo-tilassa, joten kaikkia parametreja ei saatu tallennettua.

Myös lämpötila pyrittiin vakioimaan herkän sideaineen takia, mikä toi työskentelyyn lisähaasteita jäähdytyksen muodossa. Lämpötilaa ei voitu pitää koko ajan täysin samana, koska jauhatuslaitteistoon ei ollut saatavilla automaattista jäähdytysjärjestelmää, vaan systeemi jäähdytettiin ulkoiseen astiaan lisättävällä jäävedellä.

Ennen varsinaisen tutkimuksen tekemistä työskentelyrutiineja harjoiteltiin laboratoriossa. Jauhatukset tehtiin lisäämällä astiaan raaka-aine kerrallaan reseptin mukaisesti dissolver-terän pyöriessä. Ensimmäiseksi astiaan lisättiin sideaine sekä paksuntaja, seuraavaksi dispergointiaineet ja muut apuaineet ja viimeiseksi kiinteät pigmentit sekä täyteaineet. Tämän jälkeen panosta jauhettiin 20–30 minuuttia ja lopuksi otettiin maalinäyte, joka arvioitiin standarditulkilla. Alkuperäisen reseptin mukainen jauhatusaste dispergoinnin jälkeen oli 40  $\mu\text{m}$ .

Edellä mainittujen harjoitusten jälkeen titaanidioksidin raaka-ainepuutteen johdosta päätettiin testata kahden muun, pintakäsittelyiltään erilaisen, titaanidioksidipigmentin soveltuvuus tutkittavaan maaliin. Titaanidioksidien kemialliset koostumukset sekä partikkelikoot erosivat myös alkuperäisestä titaanipigmentistä. Tehtiin siis kaksi uutta jauhatusta, joissa muutettiin titaanidioksidilaatu reseptin muuten pysyessä samana. Jauhatusasteet molemmissa kokeissa olivat 60  $\mu\text{m}$ , joten voitiin päätellä, ettei jauhatus parane titaanidioksidia muuttamalla.

## 7 Tutkittavan maalin jauhatusasteen parantaminen

### 7.1 Dimensiomuutokset

Maalia tutkineiden laboranttien kokemusten perusteella dispergoinnissa käytettiin aluksi 1/2-terää (terän halkaisija/astian halkaisija), koska näin jauheiden sekoittuminen jauhatusvaiheessa oli todettu helpommaksi. Etenkin kevyt himmennysaine saatiin näin helpommin dispergoitua sideaineeseen.

Tämän jälkeen vanhemman tutkijan kokemuksen perusteella vaihdettiin käyttöön pienempi 1/3-terä ideaalisempien dimensiosuhteiden takaamiseksi. Alkuperäinen resepti toistettiin muutaman kerran pienemmällä terällä hyvän jauhatustehokkuuden toteuttamiseksi. Jauhatusasteet kummassakin kokeessa olivat 40 µm. Lisäksi teränopeus vakioidtiin jauhatuksen aikana 2 700 RPM:n ja terän korkeus 38 mm:iin empiiristen kokemusten perusteella. Näillä muutoksilla lähdettiin vertaamaan dispergointiaineita.

### 7.2 Dispergointiaineiden vertailu

Ensimmäisessä kokeessa poistettiin kokonaan dispergointiaine A ja muut raaka-aineet lisättiin normaalisti. Titaanivalkoista ja täyteaineita lisättäessä huomattiin, että panos pyöri astiassa kehnosti. Terää jouduttiin nostamaan tavallista enemmän, jotta kiintoaine saatiin sekoittumaan nesteeseen. Jauhatuksen jälkeen otettiin näyte ja tulkilta luettiin jauhatusasteen olleen karkea, noin 90 µm.

Toisessa kokeessa vastaavasti dispergointiaine B poistettiin kokonaan. Visuaalisesti voitiin todeta, että jauhatuspanos pyöri astiassa lähes ideaalisesti donitsi-efektin mukaisesti. Otettiin näyte ja standarditulkin asteikolta jauhatusasteen lukemaksi luettiin 80 µm.

Molemmissa kokeissa jauhatus jäi karkeaksi, mutta visuaalisten havaintojen perusteella voitiin todeta, että jauhatuksen kannalta tärkeämpi dispersantti oli aine A. Dispergointiaine B:llä tiedettiin kuitenkin olevan merkitystä maalin valmistusprosessin loppuvaiheissa.

Dominoivan dispersantin toteamisen jälkeen tehtiin vielä yksi, alkuperäisen reseptin mukainen toistokoe, 40 µm:n jauhatustavoitteen varmistamiseksi. Standarditulkilta luettiin jauhatusasteen olevan 90 µm ja jauhatus päätettiin uusia vielä muutama kertaan. Jauhatusta ei saatu kuitenkaan parannettua ja tämän jälkeen alettiin selvittämään syitä, miksi alkuperäisen reseptin mukainen jauhatus ei toimi.

### 7.3 Jauhatusongelman selvittäminen

Ensimmäiseksi epäiltiin kontaminaatoriskiä raaka-aineissa, joten raaka-aineet kerättiin uudelleen ja koe uusittiin. Jauhatusnäyte oli edelleen 90 µm. Konsultoitin toista laboranttia, joka ehdotti jälleen suuremman terän kokeilemista. Jauhatus tehtiin 1/2-terällä, mutta jauhatusaste oli edelleen 90 µm.

Seuraavaksi eliminoitiin mahdollinen virheellinen työskentelytapa jauhatuksen epäonnistumisen syynä. Jauhatus suoritettiin vanhemman laborantin valvonnassa ja dissolverjauhatuksen lisäksi panos myllytettiin lisäämällä lasihelmiä astiaan. Jauhatusaste jäi myllytyksestä huolimatta 60 µm:iin.

Seuraavaksi kokeiltiin, voisiko dispergointiaine A:n määrällä saada muutosta jauhatusasteeseen. Tehtiin kaksi koetta lisäämällä dispergointiaine A:ta toisessa kokeessa 1,3-kertaisena ja seuraavassa 1,5-kertaisena, reseptin muuten pysyessä samana. Kummasakin kokeessa jauhatusaste jäi edelleen yli 90 µm:n.

Ongelmaa lähdettiin selvittämään tämän jälkeen viskositeetin säädöllä ja avuksi otettiin reometri.

### 7.4 Viskositeetin säätö

Viskositeettiin vaikuttavia tekijöitä lähdettiin tutkimaan koe kerrallaan. Sideaineen, liuotimien ja paksuntajan vaikutus viskositeettiin haluttiin selvittää erikseen.

#### 7.4.1 Sideainemäärän muutos

Ensimmäisessä kokeessa sideaine poistettiin kokonaan ja selvitettiin, voiko reseptin pigmentti- ja täyteainemäärä dispergoitua jäljellä olevaan nestemäärään. Ensimmäisessä kokeessa jauhatuspanos oli liian sitkeää eikä sitä saatu kunnolla pyörimään sekoittimessa, joten koe keskeytettiin. Toisessa kokeessa sideaineen lisäksi poistettiin paksuntaja. Panos jäi edelleen liian sitkeäksi ja näyte jouduttiin ohentamaan sideaineella jauhatusasteen mittaamiseksi, joka oli 90 µm.

Viskositeetin säätöä jatkettiin ja lähdettiin tavoittelemaan optimaalista viskositeettiä visuaalisin keinoin. Määritettiin minimisideainemäärä, jolla jauhatus saatiin pyörimään astiassa välttävästi. Vähimmäissideainemääräksi osoittautui puolet reseptinmukaisesta määrästä, ja tässä vaiheessa otettiin näyte reometriä varten. Tämän jälkeen samaan panokseen lisättiin  $\frac{1}{4}$  reseptin sideainemäärästä ja hetken kuluttua otettiin uusi reometrinäyte. Viimeinen näyte otettiin seuraavan  $\frac{1}{4}$ -lisäyksen jälkeen ja näytteet ajettiin vuorottain reometrillä. Reometrikäyrät sideainemäärän määrytyksestä on esitetty liitteessä 1. Liitteestä 1 nähdään, miten sideaineen määrän kasvaessa viskositeetti alenee.

#### 7.4.2 Liuottimen määrän muutos

Seuraavaksi testattiin liuottimien määrän vaikutus viskositeettiin. Käytettiin edellisessä kokeessa määritettyä minimisideainemäärää ja liuottimia lisättiin ensin 30 % reseptin kokonaismäärästä ja otettiin näyte. Näytteenoton jälkeen samaan astiaan lisättiin toiset 30 % reseptin kokonaismäärästä ja taas otettiin näyte. Lopuksi reseptin mukaisesta määrästä jäljelle jäänyt liuotinmäärä lisättiin ja otettiin viimeinen näyte. Näytteet ajettiin reometrillä ja käyriltä voitiin todeta, että liuottimien vaikutus viskositeettiin on lähes olematon.

#### 7.4.3 Paksuntajan vaikutus

Alkuperäisen reseptin mukaisen uretaanipohjaisen paksuntajan sijasta päätettiin testata akrylaattipohjaista paksuntajaa. Viskositeettiä jouduttiin jälleen säätämään sideaineen avulla. Sideaine jätettiin aluksi minimiin ja jauhatuksen edetessä sideainetta lisättiin kaiken kaikkiaan puolet reseptinmukaisesta, kunnes haluttu donitsiefekti saatiin astiassa aikaan. Panoksesta otettiin näyte ja standarditulkilta luettiin jauhatusasteeksi 60 µm.



Muuta huomioitavaa jauhatuksessa oli, että jauhatus saatiin toimimaan aiempaa pienemmällä terännopeudella.

Haluttiin vielä selvittää kolmannen, selluloosapohjaisen paksuntajan, mahdollinen sopivuus reseptiin. Sideaineen määrä jouduttiin ensin jälleen säätämään oikean viskositeetin löytymiseksi. Kuten edellisessä määrittäyksessä, sideainetta lisättiin jauhatuksen yhteydessä puolet reseptinmukaisesta määrästä. Edellä selvitettyjen määrien perusteella tehtiin jauhatus selluloosapaksuntajalla, jossa vakioitiin terän kierrosnopeus 3000 RPM:iin ja teränkorkeus 38 mm:iin koko jauhatuksen ajaksi. Lisäysten ja dispergoinnin jälkeen otettiin näyte ja jauhatusasteeksi arvioitiin standarditulkilta 40  $\mu$ m:ksi.

Tämän jälkeen suoritettiin kaksi koetta, joilla selvitettiin dispergointiaine A:n ja B:n vaikutus selluloosapaksuntajan kanssa. Ensimmäisessä kokeessa 1,5-kertaistettiin dispergointiaine A:n määrä ja kierrosnopeus sekä teränkorkeus pidettiin muuttumattomina. Jauhatusnäyte arvioitiin standarditulkilla olevan kokeen lopussa 20  $\mu$ m. Vastaavasti dispergointiaine B:n määrä 1,5-kertaistettiin seuraavassa kokeessa ja jauhatusasteeksi arvioitiin 25  $\mu$ m. Edellä mainitut kokeet, joissa teränkorkeus ja terännopeus on vakioitu, on esitetty liitteessä 2. Kuvaajat on esitetty P/t-koordinaatistossa, josta nähdään, että teho on kaikissa jauhatuksissa lähes sama. Lisäksi käyriin on merkitty kohdat, jolloin jauhatusaste on mitattu. Kuvaajista nähdään myös, että teholuku nousee jokaisessa kokeessa eri ajassa. Tämä selittyy sillä, että raaka-aineita lisättäessä terän kierrosnopeutta on muutettava raaka-aineita lisättäessä, kun panoksen viskositeetti muuttuu. Kierrosnopeus vakioitiin jokaisessa kokeessa 3000 RPM:iin, kun kaikki raaka-aineet oli lisätty. Lisäksi jauhatusaika on kaikissa kokeissa pitkä, koska näissä kokeissa käytettiin jäähdytystä ja haluttiin selvittää, paraneeko jauhatusaste enää yli 30 minuutin dispergoinnin jälkeen.

Jauhatusasteet saatiin viimeiseksi testatun paksuntajan kanssa hyvälle tasolle, mutta ongelmien selvittämiseen kuluneen ajan takia kokeellinen osuus päätettiin lopettaa tähän.

## 8 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Jokaisesta jauhatuksesta koottiin tehokäyrät Excel-taulukoihin, joita verrattiin keskenään eroavaisuuksien selvittämiseksi. Tämä kuitenkin osoittautui ongelmalliseksi, koska jauhatuksissa oli monia muuttujia, jotka vaikuttivat laitteiston antamaan teholukuun. Heti työn alussa olisi pitänyt vakioda teränkorkeus ja pyörimisnopeus, jotta tehokäyrien tietoja olisi voinut käyttää paremmin. Kokeita tehtiin useita kymmeniä, joissa teränkorkeus tai kierrosnopeus muuttui, joten taulukoita ei voi suoraan verrata keskenään. Viimeisissä kokeissa em. muuttujat vakioitiin ja käyriä voitiin verrata keskenään liitteessä 2.

Paksuntajia vaihtamalla olisi voinut vaikuttaa maalin lopullisiin ominaisuuksiin. Alkuperäinen jauhatuspanos oli liian ohutta ja paksuntajan vaikutus viskositeettiin on merkittävä. Viskositeetti on alkuperäisen reseptin mukaan tehtynä liian pseudoplastinen. Paksuntajaa muuttamalla toivottua lopputulosta ei kuitenkaan saatu.

Kokeiden perusteella ei voida antaa suoria vastauksia alkuperäisiin kysymyksiin jauhatustasteen parantamiseen liittyen. Työssä ilmenneet ongelmat kuten reseptin toimimattomuus ja siitä seurannut reseptin optimointi veivät työstä paljon aikaa, eikä varsinaiseen ongelmaan päästy lopulta kunnolla käsiksi. Lisäksi työn alussa oli ongelmia itse laitteiston ja tietojen tallentamisen kanssa, kunnes laitteen maahantuojalta saatiin ohjeet ongelman ratkaisemiseksi.

Ennen työn tekemistä puhuttiin myös mahdollisten referenssimaalien käytöstä jauhatuksen optimoimiseen, mutta vertailuja muihin vastaavanlaisiin maaleihin ei kuitenkaan tehty. Työn lopulla käytettiin alkuperäistä reseptiä referenssinä, kun paksuntajien muu-  
tosta arvioitiin viskositeetin säädössä. Muista referenssimaaleista olisi saattanut olla apua antamaan osviittaa, mihin tekijöihin työssä olisi pitänyt kiinnittää enemmän huomiota.

Valmistautuminen työhön olisi pitänyt tehdä ehdottomasti paremmin. Aluksi olisi pitänyt tehdä kunnan tutkimussuunnitelma, mutta lähdettiin tekemään kokeita yksi kerrallaan ja tulosten perusteella päätettiin, mitä tehtäisiin seuraavaksi. Työssä tutkittiin syy-seuraussuhteita ja ongelmien ilmettyä edettiin hieman harhaan alkuperäisestä tavoitteesta. Lisäksi toistokokeita olisi pitänyt tehdä enemmän jauhatustasteen varmistamiseksi. Onneksi kuitenkin tajuttiin tehdä muutama toistokoe alkuperäisellä reseptillä, josta jauha-

tuksen huono laatu huomattiin. Olisi ollut vaikeaa lähteä myöhemmin korjaamaan tilannetta, vaan ongelma huomattiin onneksi varhaisessa vaiheessa. Valitettavasti alkuperäisiin kysymyksiin ei päästy kunnolla käsiksi. Jauhatusasteeseen liittyviä tekijöitä saatiin kuitenkin poisluettua, joten lisätutkimuksia varten työstä on hyötyä.

## 9 Johtopäätöksiä

Avoimiksi jääneistä kysymyksistä huolimatta työstä saatiin kerättyä uutta informaatiota ja poistettua tiettyjä tekijöitä maalia koskevia lisätutkimuksia varten.

Sideaineen vähentäminen ei paranna jauhatustetta, eikä myöskään koostumukseen toisenlaisen titaanipigmentin käyttö paranna jauhatusta. Tämä selvitettiin heti työn alussa raaka-ainepuutteiden takia.

Dispergointiaine A on jauhatukselle tärkeämpi kuin dispergointiaine B. Tämä selvitettiin vertaamalla kahta eri jauhatusnäytettä, joissa toinen dispersioaine oli poistettu kokonaan. Tehtyjen kokeiden perusteella voidaan olettaa myös, että dispergointiaine A:n määrän kasvattaminen ei suoranaisesti vaikuta jauhatusasteeseen positiivisesti.

Alkuperäisen reseptin mukaisen paksuntajan määrää muutettiin kokeiden aikana, eikä sekään paranna jauhatusta. Toisten paksuntajien kokeilun perusteella sen sijaan voidaan arvioida, voisiko niissä olla avain jauhatuksen optimointiin. Selluloosapohjaisella paksuntajalla saatiin viimeisissä kokeissa paras jauhatustulos, mutta toistokokeita ei ehditty tekemään.

Työn alun ongelmat Windisp-ohjelmiston kanssa saatiin ratkaistua työn edetessä. Työssä saatiin varmennus sille, että ohjelmistoa voidaan käyttää jauhatuksessa vaadittavan energiamäärän arviointiin. Lähtökohtaisesti ideaalitilanne olisi ollut se, että jokaisen raaka-aineen lisäyksen olisi voinut nähdä tallenteelta tehonmuutoksena. Tämä ei kuitenkaan laboratoriomittakaavaan pienuudesta johtuen ollut mahdollista.

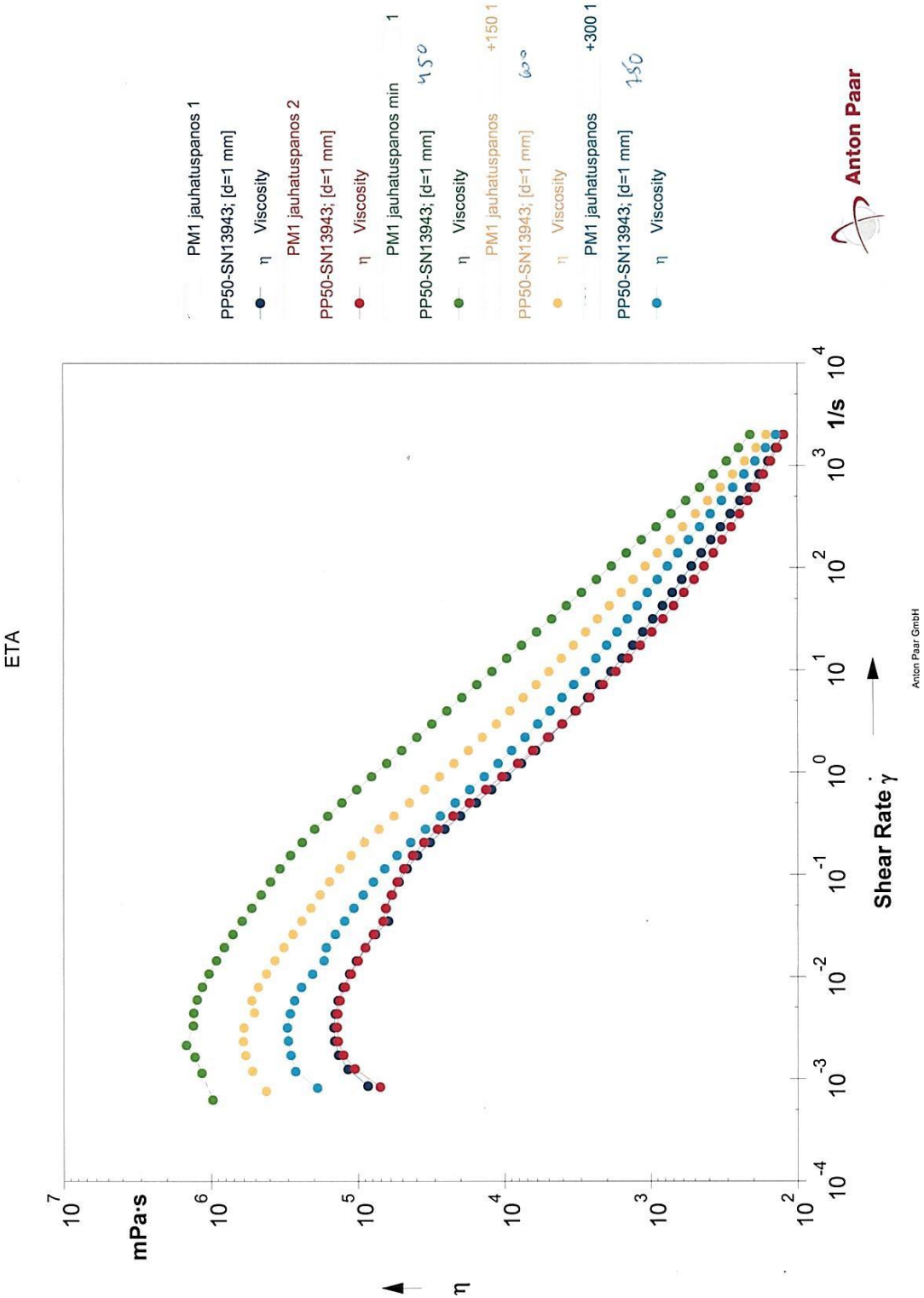
Jauhatusasteen arvioiminen osoittautui myös hankalaksi, koska maalinäyte kuivui todella nopeasti ja partikkeleita sekä näytteen pinnalle muodostuvia ilmakuplia oli vaikea erottaa toisistaan standarditulkilta. Olisi mahdollisesti parempi, jos jauhatusnäytettä voi-

taisiin arvioida jollain luotettavalla laitteella, ei vain silmämääräisesti standarditulkin pinnalta. Tämä osaltaan vaikutti varmasti siihen, että kokeiden perusteella oli vaikea tehdä suoria johtopäätöksiä.

## Lähteet

- 1 Tietoa Teknoksesta. 2012. (verkkodokumentti) <<http://www.teknos.fi/?pageID=H2892>>. Luettu 19.1.15.
- 2 Brock, Groteklaes, Mischke. 2000. European Coatings Handbook. Hannover, Saksa: Vincentz Verlag.
- 3 Holger, Alén. 1999. Maalit ja niiden käyttö. 2. uudistettu painos. Hakapaino Oy, Helsinki.
- 4 Snietka, Adam. Luentomoniste. VMA-Getzmann GMBH. Luettu 19.1.15.
- 5 Kuva dissolverista. (verkkodokumentti). <[http://www.vma-getzmann.de/uploads/ftp2/dissolver\\_ae/dissolver\\_ae01-ae06.jpg](http://www.vma-getzmann.de/uploads/ftp2/dissolver_ae/dissolver_ae01-ae06.jpg)>. Luettu 25.1.2014.
- 6 Kuva dissolver-teristä. (verkkodokumentti). <[http://www.vma-getzmann.com/modules/bildergalerie.php?bilder\\_seiten\\_id=56](http://www.vma-getzmann.com/modules/bildergalerie.php?bilder_seiten_id=56)>. Luettu 25.1.2014.
- 7 Kuva jauhatuksen dimensioista. (verkkodokumentti). <<http://www.vma-getzmann.com/uploads/ftp/knowhow/dispergiertechnologie/umfangsgeschwindigkeit.gif>>. Luettu 25.1.2014.
- 8 Kuva donitsi-efektistä. (verkkodokumentti). <<http://www.vma-getzmann.com/uploads/ftp/knowhow/dispergiertechnologie/doughnut.jpg>>. Luettu 25.1.2014.
- 9 Kuva standarditulkista. (verkkodokumentti). <<https://en.wikipedia.org/wiki/Grindometer#/media/File:Grindometer.JPG>> Luettu 23.8.2014.
- 10 Anton Paar. 2012. Basics of Rheology. Luentomoniste. Luettu 6.4.2015.
- 11 Katainen, Ilja. Tutkija, Teknos Oy, Helsinki. Keskustelu 17.10.2014.
- 12 Gysau, Detlef. 2006. Fillers for Paints, Fundamentals and Applications. Hannover, Saksa: Vincentz Network.
- 13 Katainen, Ilja. Tutkija, Teknos Oy, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 15.12.2015.

Viskositeetin säätö sideainemäärän avulla



## Dispergointiaineiden vertailu selluloosapaksuntajan kanssa

